



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Anita Makarevitš

EESTI KOOBASTES TALVITUVAD LÜLIJALGSED
HIBERNATING ARTHROPODS IN THE ESTONIAN CAVES

Bakalaureusetöö
Loodusturismi õppekava

Juhendaja: Olavi Kurina, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Anita Makarevitš		Õppekava: Loodusturism (80520)	
Pealkiri: Eesti koobastes talvituvad lüljalgsed			
Lehekülgi: 52	Jooniseid: 5	Tabeleid: 3	Lisasid: 2
Osakond: Elurikkuse ja loodusturismi õppetool			
Uurimisvaldkond: Süstemaatiline botaanika, zooloogia, zoogeograafia (B320)			
Juhendaja(d): Olavi Kurina			
Kaitsmiskoht ja aasta: Eesti Maaülikool 2018			
<p>Eestis pole komplekselt uuritud talvituvaid lüljalgseid sh putukaid. Koobastes talvituvate lüljalgsete kohta leidub märkeid erinevaid organismirühmi käsitlevates töödes: liblikad (Viidalepp & Remm 1996, Õunap & Tartes 2014), ämblikud (Vilbaste 1987), seenesääsklased (Kurina 1996). Seega on teema uudne ja aktuaalne. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli sedastada koobastes talvituvate lüljalgsete liigiline koosseis. Töö autor külastas detsembrist 2017 – jaanuar 2018 16 koobast. Põhja-Eestis külastati 6 koobast ja Lõuna-Eestis 10 koobast. Kirjeldamiseks koguti/vaadeldi 5149 isendit, mäartuid oli 60 liiki/rühma. Kasutati 3 indeksit - Sørenseni sarnasusindeksit, Jackknife 2 ja Chao 1 indeksit. Uuritud koobastest kogutud või vaadeldud isendite arv varieerus 70-st kuni 947, keskmiselt 322 isendit. Sedastatud liikide arv varieerus 7-st kuni 22 liigini, keskmiselt 13,25 liiki. Uurimistöö käigus selgus, et koopa suurus pole liigilise koosseisule määrav, oluline on koopa ümbruses oleva taimestiku mitmekesisus. Kuigi Põhja-Eesti koopad on suuremad kui Lõuna-Eesti koopad, siis liigiline koosseis oli Lõuna-Eestis suurem. Seda saab seletada vähese inimõjuga ja mitmekesisema taimestikuga. Kõige liigirikkamaks koopaks osutus Kalmistu paljandi koobas Tartus (22 liiki), mis on kooskõlas varasemate publitseeritud andmetega. Seda võib seletada asjaoluga, et Kalmistu paljandi koopa suuava, mis on suunatud Emajõe poole, on ümbritsetud suhteliselt mitmekesise taimestikuga, samuti on paljandi kohal liigirikas ja maastikuliselt mosaiikne kalmistu.</p>			
Märksõnad: koopad; lüljalgsed; talvitumine; mitmekesisus; inimõju			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Anita Makarevitš		Specialty: Nature Based Tourism (80520)	
Title: Hibernating Arthropods in the Estonian caves			
Pages: 52	Figures: 5	Tables: 3	Appendixes: 2
Department: Chair of Biodiversity and Nature Tourism			
Field of research: Systematic botany, zoology, zoogeography (B320)			
Supervisors: Olavi Kurina			
Place and date: Estonian University of Life Sciences 2018			
<p>Hibernation of arthropods, including insects are not complexly investigated in Estonia. In caves, hibernating arthropods have been mentioned in various publications of different organism groups: butterflies (e.g. Viidalepp & Remm 1996, Õunap & Tartes 2014), spiders (Vilbaste 1987), fungus gnats (Kurina 1996). Nevertheless, the topic is new and actual. The aim of this Bachelor's thesis was to identify the species diversity of hibernating arthropods in Estonian caves. From December 2017 to January 2018 author visited 16 caves. In Northern Estonia 6 caves and in Southern Estonia 10 caves were visited. 5149 specimens were collected/observed and 60 species/groups were identified. To describe the species diversity and similarity in different caves, three indexes were applied: the Sørensen Similarity index, the Jackknife 2 and the Chao 1 index. The number of specimens from the caves that were collected or observed varied from 70 to 947, with average 322 specimens. The number of species varied from 7 to 22 species, with average 13.25 species. The research confirmed that the cave size is not determinative to the species richness that depends obviously on diversity of the vegetation. In North-Estonia, caves are larger than in South-Estonia but in South-Estonia there were more species that could explain by lower human impact and more diversified vegetation. The higher number of species was collected in the Kalmistu outcrop cave (22 species) that is in accordance with earlier published data. This can be explained by the fact that the Kalmistu outcrop cave is surrounded by more diversified vegetation and there is a species-rich and mosaic cemetery landscap nearby.</p>			
Keywords: caves; arthropods; hibernating; diversity; human impact			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1 Eesti koopad maailma kontekstis	7
1.2 Koopatingimused ja elustik.....	7
1.3 Putukate talvitume ja strateegiad ebasoodsate tingimuste üleelamiseks.....	8
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	10
2.1 Uuritud koopad	10
2.1.1 Uuritud koobaste kirjeldus	11
2.2 Materjali kogumine	15
2.3 Materjali sorteerimine, määramine ja analüüs.....	15
3. TULEMUSED	17
3.1. Talvituvate lüljalgsete liigiline koosseis	17
3.1.1 Liblikalised (<i>Lepidoptera</i>)	25
3.1.2 Kahetiivalised (<i>Diptera</i>)	26
3.1.3 Mardikalised (<i>Coleoptera</i>)	28
3.1.4 Koibikulised (<i>Opiliones</i>)	28
3.1.5 Ämblikulised (<i>Araneae</i>)	29
3.1.6 Tuhatalgsed (<i>Diplopoda</i>) ja sadajalgsed (<i>Chilopoda</i>).....	29
3.2 Koobaste lüljalgsete fauna iseloomustus.....	30
ARUTELU	33
KOKKUVÕTE.....	35
SUMMARY	36
KIRJANDUS	37
LISAD	42
Lisa 1. Uuritud koobaste pildid	43
Lisa 2. Putukate sorteerimise pildid	51

SISSEJUHATUS

Koopad on maa-alused õõnsused, mis on tekkinud enamasti looduslike protsesside tulemusena (Tõnisson & Vellak 2015). Sõltuvalt nende geoloogilisest päritolust saab koopaid jagada erinevateks tüüpideks: lubjakivi- (karsti), liivakivi-, laava-, liustiku-, tektoonilisteks- ja hüdrotermiliseks koobasteks (Romero 2012). Koobaste eristamiseks teistest pinnavormidest on lähtunud järgnevast põhimõttest: koopa suuava mõõduks on inimene, ehk siis koopaava peab olema piisavalt suur, et inimene sinna mahuks ja koobas peab ulatuma nii kaugele, et valgus enam sisse ei pääse, peab olema nn pimeduse piirkond (Tõnisson & Vellak 2015). Täpset arvu, kui palju koopaid maailmas leidub, pole teada. Ameerika Ühendriikides on maailma kontekstis kõige rohkem koopaid (Adventure – Caves 2017) ja seal on ka maailma suurim koobas, mida kutsutakse Mammutikoopaks (*Mammoth Cave*). Euroopas leidub ainuüksi karstikoopaid ligi 130 000 (sealsamas).

Lisaks looduslikele koobastele on palju sarnaseid maa-aluseid tühimikke, mis on inimtekkelised. Enamasti on need tekkinud maavarade kavandamise tulemusena, aga on ka varjekoopaid, panipaikasad jt (Tõnisson & Vellak 2015).

Suured looduslikud koopad on eksisteerinud muutumatuna või kergelt modifitseerudes miljuoneid aastaid ning nendes on ainuomased, väga stabiilsed keskkonnatingimused: puudub valgus, enamasti ei ole taimi, niiskustase on kõrge ja temperatuur aastaringselt ühtlane (Kniss 2001). Evolutsiooni käigus on sellistes koobastes tekkinud ja kujunenud spetsiifiline elustik. Liike, kes elavad vaid koobastes, nimetatakse troglobiontideks (Tõnisson & Vellak 2015) ning neil on arenenud koopaingimustele kohased tunnused (Kniss 2001). Maailmas võib tüüpilisi troglobionte kohata mitmete organismirühmade hulgas, näiteks roomajad (*Orthriophis taeniurus* (Cope, 1861)), kahepaiksed (koopaolm – *Proteus anguinus* Laurenti, 1768), kalad (*Phreatichthys andruzzii* Vinciguerra, 1924), molluskid (*Pyrgulopsis texana* (Pilsbry, 1935) ja loomulikult mitmed lüljalgsed (*Phanetta subterranea* (Emerton, 1875), *Leptodirus hochenwartii* Schmidt, 1832, *Speolepta leptogaster* (Winnertz, 1863)) (Culver & White 2012). Lisaks spetsiifilisele elustikule kasutavad koopaid ka paljud teised organismid varjepaigana. Eesti looduslikud koopad on suhteliselt väikesed ning paiknevad enamasti Kagu-Eestis, Viljandimaal ja Põhja-Eestis. Lõuna-Eestis on põhiliselt liivakivikoopad, seevastu Põhja-Eestis on koopad seotud karsti ja klindiga. (Tõnisson & Vellak 2015) Lisaks väikestele looduslikele

koobastele on enamus Eesti koopaid (või koopa tüüpi maa-aluseid õõnsusi) inimtekkelised ning neid leidub üle kogu Eesti. Enamasti on inimtekkelised koopad seotud maavarade kaevandamisega (liiv – Piusa koopad, Aruküla koobas; fosforiit – Ülgase koobas; põlevkivi – kaevanduskäigud Ida-Virumaal), aga need võivad olla ka pelgupaigad (Helme koobas), hoidlad (õllekelder Vana-Karistes) või sõjalised objektid (Peeter Suure merekindluse tunnelid).

Eestis koopaspetsiifiline elustik puudub, küll aga kasutatakse koopaid varjena ja ebasoodsa ilmastiku üleelamiseks sh talvitumiseks mitmete organismirühmade poolt. Kõige tuntumateks koobastes talvitujateks on nahkhiired, kuid seal kohtab ka mitmeid lülialgsete rühmi.

Eestis ei ole talvituvaid lülialgseid, sh putukaid, komplekselt uuritud. Märkeid lülialgsete talvitumise kohta koobastes leidub erinevaid organismirühmi käsitlevates töödes: liblikad (näit. Viidalepp & Remm 1996, Õunap & Tartes 2014), ämblikud (Vilbaste 1987), seenesääsklased (Kurina 1996). Seega on teema uudne ja aktuaalne.

Käesoleva töö eesmärgiks oli sedastada koobastes talvituvate lülialgsete liigiline koosseis. Töö hüpoteesiks püstitati, et koobastes talvituvate lülialgsete liigiline koosseis on võrdelises seoses koopa suurusega.

Suur tänu juhendajale Olavi Kurinale, kes oli alati olemas ja abiks ning varustas uurimistöök vajalike vahenditega. Samuti tänab autor Tõnu Keskülat, kes oli koobaste külastamise käigus kaasas ja aitas koguda materjali, Heli Kirikut, kes aitas määrata pistesääski, Märt Kruuset, kes aitas määrata mardikaid ja Kaarel Sammetit, kes aitas määrata hulgalgseid ja ämblikuid. Abiks olid ka Heike Olevi, kes aitas transpordiga Lõuna – Eestis ja Urmas Jürivete, kes aitas transpordiga Tallinnas. Suur tänu ka Keskkonnaametile, kes väljastas loa osades koobastes liikumiseks. Aitäh ka Tiiu Kullile, kes aitas mul leida juhendajat.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Eesti koopad maailma kontekstis

Koopaid saab defineerida kui looduslikud maa-alused või veealused õõnsad kohad, millel on nn. „suuava“. Sõltuvalt geoloogilisest päritolust saab koopaid klassifitseerida lubjakivi- (karsti), liivakivi-, laava-, liustiku-, tektoonilisteks- ja hüdrotermiliseks koobasteks. Kui palju koopaid maailmas on, pole täpselt teada, arvatakse et mitusada tuhat. Juba Euroopas leidub ligi 130 000 karstikoobast. Maailma suurim koobas on Mammutikoobas (*Mammoth Cave*) Ameerika Ühendriikides, mille käikude kogupikkus on 580 km. (Romero 2012)

Eestis on umbes sadakond koobast ja neist enamik on inimtekkelised. Looduslike koopaid leidub rohkem Kagu-Eestis ja Viljandimaal. Tehiskoopaid on aga üle kogu Eesti ning need on üldiselt suuremad kui looduslikud koopad. Nii Lõuna- kui ka Põhja-Eestis leidub looduslikke liivakivi- ja karstikoopaid, mida on küll suhteliselt vähe. Valdavalt on Lõuna-Eestis liivakivikoopad (seotud Devoni ajastu kivimitega), seevastu Põhja-Eesti koopad on seotud klindi ja karstialadega (Kambriumi, Ordoviitsiumi ja Siluri ajastu kivimid). Koopauuringute andmete põhjal on Eestis vaid 20 loodusliku koobast, mis on pikemad kui 5 meetrit. Looduslike koobaste põhilised tekkeprotsessid on sufosioon, karst ja murrutus. (Tõnisson & Vellak 2015)

1.2 Koopatingimused ja elustik

On teada, et koopatingimused ja elustik on spetsiifilised ning seepärast peavad sealsed organismid adapteeruma vastava keskkonnaga (Kniss 2001). Koobastes puudub valgus ja seoses sellega ei ole ka taimi, niiskustase on kõrge ning temperatuur on aastaringselt ühtlane (Sealsamas). Mida väiksem on koobas, seda rohkem on see mõjutatud välistingimustest. Kuna koobastes on niiskustase kõrge, 80 – 100% (Kurina 1996), siis on see hea keskkond ka mitmesugustele parasiitseentele, kes on talvituvatele liblikatele ja teistele lüljalgsetele ohuks ning põhjustavad nende hukkumist (Tõnisson & Vellak 2015).

Koopa avausele langeb rohkem valgust ja selle ümbruses võib kasvada erinevaid samblaid, samas kui samblikud ja vetikad on vähem valgusnõudlikud, seega võib neid leida ka pimedamates tsoonides. (Tõnisson & Vellak 2015)

Eesti koobastes pole liike, kes oleksid koopaspetsiifilised. Maailma suurtes koopasüsteemides on aga hulgaliselt troglobionte, s.o. liike, keda võib leida ainult koobastes (Tõnisson & Vellak 2015). Nendel loomadel on toimunud depigmentatsioon, jäsemete pikkus on vähenenud ja toimumud muud koopatingimustele kohased muutused (Kniss 2001). Mõnel liigil pole silmi ning selleks, et liikuda koopas, on neil arenendu pikad tundlad. Suurtes koobastes on ka hapnikusisaldus madal ja süsinikdioksiidi sisaldus kõrge ja sellele vastavalt on muundunud ka troglobiontide füsioloogia (Fox-Skelley 2015).

1.3 Putukate talvitume ja strateegiad ebasoodsate tingimuste üleelamiseks.

Loomade maailmas on erinevad ellujäämisstrateegiad ekstreemsetes tingimustes, eriti kujuneb see välja madalates temperatuuritingimustes. Väliskeskkonna temperatuuri langemisel aeglustub loomadel ainevahetus ja kehatemperatuur muutub madalamaks (Suljević *et al.* 2017). Putukatel, kellel puuduvad ebasoodsatele keskkonnatingimustele vastavad füsioloogilised iseärasused, võivad hukkuda. Kahju, mida putukatele põhjustab madal temperatuur, on kahte tüüpi: kehasisemine külmumine ja kiire jahtumine ilma külmumiseta (Fisher 1994).

Parasvöötme pikka talve suudavad üle elada ainult talvitumiseks füsioloogiliselt ettevalmistunud putukad. Enne puhkeseisundisse minekut varustavad putukad ennast varuainete ehk rasvadega, ainevahetuse aeglustub ja toimuvad talvitumiseks kohased reaktsioonid. (Merivee 1978)

Putukatel eristatakse kahte arengut - täismoone, kus toimub nukkumine ja vaegmoone, kus nukkumist ei toimu. Erinevates arengustaadiumites olevatel putukatel pole samu eeldusi talvitumiseks. Näiteks munade, vastkoorunud röövikute ja nukkude alajahtumisvõime on suurem kui vanemate kasvujärkudel vastsetel ja valmikutel. Selleks, et putukad erinevas arengustaadiumis saaksid üle elada parasvöötme talve, otsivad nad endale sobiliku talvitumisaega. Mõned liigid talvituvad lume all – pinnases, kõdus, kändudes, lumekihi sees taimede küljes, mõned talvituvad lumepinnast kõrgemal - puutüvedel, okstel, puidus, mõned liigid talvituvad hoonetes ja koobastes. (Merivee 1978)

Diapaus on putukate seisund, mis tekib ebasoodsa sesooni eel, mis pidurdab kasvu ja arengut. See esineb peaaegu kõikide putukate arengus, kes elavad mõõdukas kliimas. Diapausi jagatakse kaheks vormiks – obligatoorne ja fakultatiivne vorm. Obligatoorne diapaus on diapausi vorm, kus, olenemata keskkonnatingimuste muutustest, toimub teatud arengustaadiumil diapaus. Fakultatiivne diapaus on diapausi vorm, kus eelnevad signaalifaktorid ebasoodsatele keskkonnatingimustele, näiteks lühenev päev ja alles seejärel toimub ettevalmistus diapausiks. Putukatel toimub kolm erinevat füsioloogilist perioodi diapausi ajal. Esimene on prediapaus, kus putukas varub varuaineid ja toimub nende ladestumine kehas. Vähendeb ka veesisaldus kehas. Teine on diapaus, mil intensiivselt väheneb ainevahetuseprotsess. Diapausi ajal pole putukal võimalik areneda ka soodsaisse tingimustesse sattumisel. Postdiapaus on kolmas füsioloogiline periood, kus putukal taastub võime areneda ja selles perioodis veedavad putukad ülejäänud talve. (Merivee 1978)

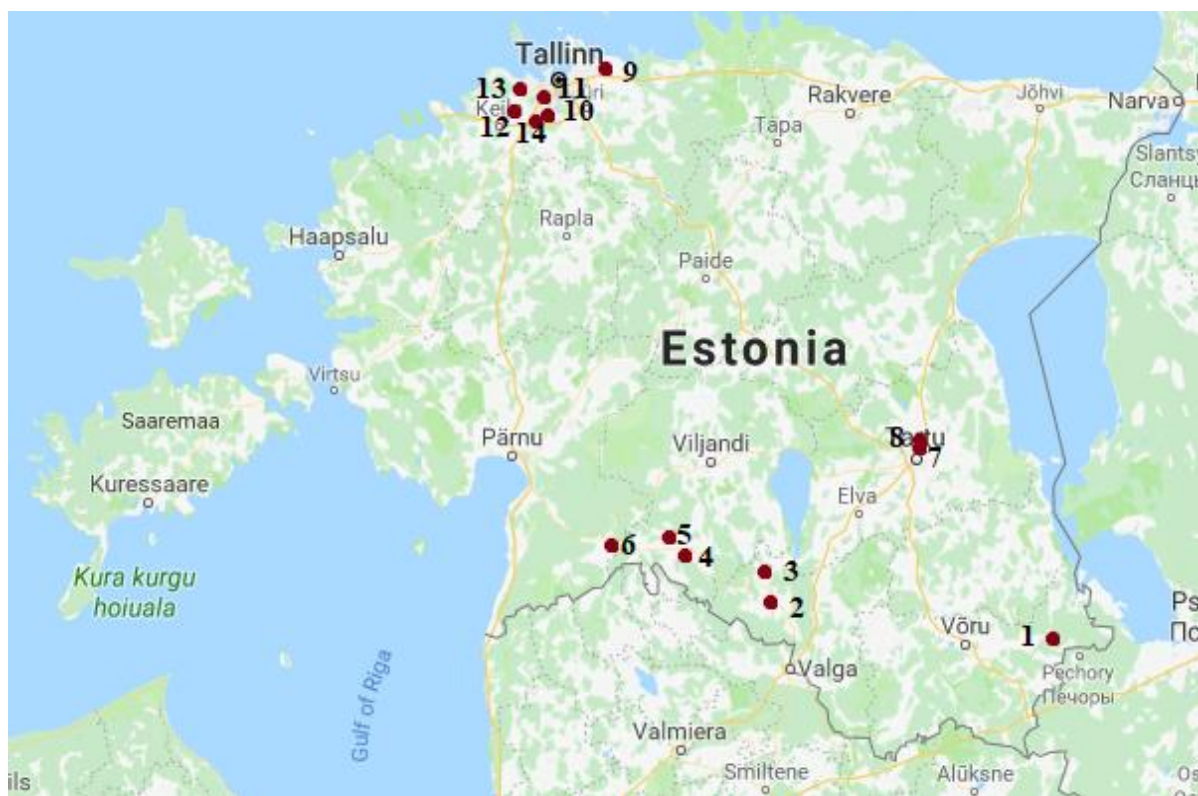
Taliuinak on tekkinud putukatel ebasoodsate tingimustega kohastumisel, kui arengutsüklis toimub rütmiliselt korduv aktiivse elutegevuse pidurdus. Võrreldes diapausi taliuinakuga, on diapaus sügavam ja erineb nii ökoloogiliselt kui ka füsioloogiliselt. Putukad, kellel toimub taliuinak, lõpetavad toitumise hilja sügisel või vara talvel. Nad otsivad talvitumiseks kohta, kus on toit lähedal. Seepärast nende ainevahetus ei aeglustu ja taliuinakus putukad on pigem kohastunud külmale. (Merivee 1978)

Tarre ehk külmakangestus, on putuka elutegevuse seiskumine, kus ebasoodsates keskkonnatingimustes putuka liikumisreaktsioon katkeb ning ainevahetus aeglustub. Tarreseisundid ei saa pidada puhkeperioodiks nagu seda on taliuinak või diapaus kuna tarreseisundis putukal puuduvad füsioloogilised kohastumised ebasoodsateks keskkonnatingimusteks. (Merivee 1978)

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Uuritud koopad

Uuritavate koobaste asukohaks oli Lõuna- ja Põhja-Eesti. Uurimistöö autor külastas kokku 16 koobast. Põhja-Eestis, Tallinna ümbruses, külastati kuut koobast: Ülgase, Laagri, Tännassilma, Vääna-Posti, Vääna-Viti ja Astangu. Lõuna-Eestis külastati kümnet koobast, mis olid viies erinevas maakonnas: Tartu, Valga, Viljandi, Põlva ja Pärnu. Põlvamaal külastati kolme Piusa koobast, Valgamaal Koorküla koobast, Viljandimaal Helme, Lopa ja Vana-Kariste koopaid, Pärnumaal Allikukivi koobast ning Tartumaal Kalmistu paljandi koopaid ja Aruküla koobast. Koobaste valimisel lähtuti koobaste suurusest, asukohast ja sissepääsu võimalustest. Koobaste geograafilised andmed ja asukohad kaardil on toodud välja tabelis 1 ja joonisel 1.



Joonis 1. Uuritud koobaste paiknemine. Numbrid vastavad Tabelis 1 esitatud nimekirjale. Mõõtkava 1:50 000 (Google Maps, originaal).

Tabel 1. Uuritud koopad, külastuse kuupäev ja nendes materjali kogumiseks viibitud aeg

Number	Maakond	Koopa nimetus	Koordinaadid	Kuupäev	Koobastes viibimis aeg
1a	Põlva maakond	Piusa 1 Mõrsjamäe koobas	57°50'32", 27°27'50"	19.12.2017	40 min
1b	Põlva maakond	Piusa 2 koobas Plotina orust W-s	57°50'36", 27°27'29"	19.12.2017	30 min
1c	Põlva maakond	Piusa 3 Tsumbalohu koobas	57°50'04", 27°27'02"	19.12.2017	25 min
2	Valga maakond	Koorküla koobas	57°55'59", 25°52'03"	21.12.2017	30 min
3	Valga maakond	Helme koobas	58°01'05", 25°52'46"	21.12.2017	30 min
4	Viljandi maakond	Lopa koobas	58°07'01", 25°27'20"	21.12.2017	20 min
5	Viljandi maakond	Vana-Kariste tehiskoobas	58°08'51", 25°21'14"	21.12.2017	40 min
6	Pärnu maakond	Allikukivi koobas	58°09'04", 25°00'35"	21.12.2017	30 min
7	Tartu maakond	Kalmistu paljandi koopad	58°23'42", 26°42'42"	04.01.2018	30 min
8	Tartu maakond	Aruküla koobas	58°24'15", 26°42'27"	04.01.2018	35 min
9	Harju maakond	Ülgase koobas	59°29'14", 25°05'30"	09.01.2018	1 h 15 min
10	Harju maakond	Laagri tunnel	59°20'43", 24°38'32"	09.01.2018	40 min
11	Harju maakond	Astangu tunnel	59°23'49", 24°37'36"	09.01.2018	45 min
12	Harju maakond	Vääna-Posti tunnel	59°22'28", 24°24'27"	09.01.2018	45 min
13	Harju maakond	Vääna-Viti tunnel	59°26'18", 24°22'57"	09.01.2018	40 min
14	Harju maakond	Tänassilma tunnel b	59°20'28", 24°38'19"	09.01.2018	30 min

2.1.1 Uuritud koobaste kirjeldus

Järgnevalt on iseloomustatud külastatud koopaid, nende paiknemist maastikul, mõõtmeid, vee olemasolu koobastes ning ümbritseva puurinde üldist iseloomu. Koobaste lühikirjeldustes on integreeritud olemasolevaid kirjandusandmeid (paiknemine, pikkus, kõrgus) ja autoripoolseid vaatlusi.

Piusa koobastik (Joonis 1:1; Lisa 1: 5-13)

Uurimistöö autor külastas kolme Piusa koobast: Mõrsjamäe koobast, Plotina orust ca 200 meetrit läänes asuvat koobast ja Tsumbalohus asuvat koobast. Piusa koopad asuvad Kagu-Eestis, Piusa raudteejaama ümbruses. Ülem-Devoni liivakivis asuv Piusa koobastik on

inimtekkeline, need on kaevatud klaasiliiva tootmiseks (Tõnisson & Vellak 2015). Mõrsjamäe ja Plotina oru koopad on suuruselt sarnased, madalad, kuid pindalalt suured ja koobastes on palju käike, mis moodustavad labürindi. Tsumbalohu koopa suuava on lai ja kõrge, koopas ei ole kõrvalkäike ja ta on pindalalt suhteliselt väike. Mõrsjamäe koopas ei ole vett, Plotina oru ja Tsumbalohu koobastes aga on , kuid ainult madalamates kohtades. Piusa koobastiku ümbruses kasvab valdavalt kuiv männimets.

Koorküla koobas (Joonis 1:2; Lisa 1:1-4)

Koorküla koobas asub ühe Õhne jõe lisaoru nõlvas, koopa vastas asub Koorküla küla (Tõnisson & Vellak 2015). Koopa ava on 1,4 m kõrgune ja 2 m lai (sealsamas). Koopa avause ees voolava oja ületamiseks on ehitatud sild (vt Lisa 1:1-4). Läheduses asuva Koorküla pargi taimestik on mitmekesine, seal on registreeritud 32 liiki puid (Eisen 2000). Koopas ei olnud lahtist vett.

Helme koobas (Joonis 1:3; Lisa 1:21-22)

Helme koobas asub Helme lossivaremete lähedal Valga-Pärnu maanteest kirdes. Koopa avause läbimõõt on 4-6 m ja kõrgus 3,5 m, koobas on mitme käiguline ja sügav (Tõnisson & Vellak 2015). Algselt on koobas tekkinud allika poolt keskdevoni Burtnieki lademe liivakivisse uuristatud urgetena, hiljem on inimene neid laiendanud (Meltsas 2000). Koopa ümbruses kasvavad põhiliselt lehtpuud. Vett on umbes 5-10 cm ja vaid madalamates kohtades.

Lopa koobas (Joonis 1:4; Lisa 1:19-20)

Lopa koobas on sufosioonilise tekkega looduslik koobas , mis asub Pöögile oja paremas kaldas. Koopakäigu kogupikkuseks on mõõdetud maksimaalselt 68 meetrit (Tõnisson & Vellak 2015). Koobas on madal.. Tänapäevaks on koopa avause ette varisenud suur, selle kohal kasvanud kuusk ja sellega on kaasnenud, et koopaava ees on liivahunnik. Kuna liivahunniku taha on kogunenud vesi, ei pääse koopas väga kaugele. Koopa sees voolab allikaoja (Eesti Entsüklopeedia 2013 s. v. Lopa koobas). Puid kasvab ümbruses palju, domineerivaks liigiks on hall lepp.

Vana-Kariste tehiskoobas (Joonis 1:5; Lisa 1:17-18)

Vana-Kariste tehiskoobas asub Koodioru külas, mille lähedal asub Kariste järv (Tõnisson & Vellak 2015). 106 meetri pikkust liivakivisse kaevatud koobast kasutati 19. sajandil mõisa õllekeldrina (Kurina 1996). Koopa avaus on väga kitsas ja vett oli külastuse ajal peaaegu kogu koopa ulatuses ligi 20 cm. Käikude kõrgus on 2-3 m ja laius 2 m (Tõnisson & Vellak 2015). Ümbruses kasvavad lehtpuud: haab, hall lepp, vaher. Koopa kõrval voolab oja.

Allikukivi koobas (Joonis 1:6; Lisa 1:14-16)

Allikukivi koobas asub Kilingi-Nõmmest 3 km idas (Kurina 1996). Punakaspruunist liivakivist koopas voolab allikaoja, mis on ka Allikukivi koopa tekkimise põhjus (Tõnisson & Vellak 2015). Koobas on 33 m pikk ja 2-5 m kõrge (sealsamas). Sissepääsu ette on ehitatud uks. Koopa sees ei olnud vett. Ümbruses kasvavad kased ja teised lehtpuud. Koopa kõrval kulgeb vana maantee.

Kalmistu paljandi koopad (Joonis 1:7; Lisa 1:35-36)

Kalmistu paljandi koopad asuvad Tartu linnas Emajõe vasakus kaldas Vana-Peetri kalmistu kohal (Keskkonnaagentuur 2014b). Paljandi Devoni liivakivi seinasisse on tehislikult uuristatud kitsad tunnelid, mis on ligi 15 m pikad (Kurina 1996). Kalmistu paljandi ümbrus on niiske, koobaste sees on aga kuiv. Puid on hõredalt, rohkem on neid paljandi kohal surnuaias.

Aruküla koobas (Joonis 1:8; Lisa 1:37-38)

Aruküla koobas asub Tartu linna loodepiiril. Liivakivisse uuristatud tehnik koopasüsteem on umbes 300m² suur (Kurina 1996) ja koopa kõrgus 1-1,5 m (Alasi 2012). 1959. aastal võeti Aruküla koobas kaitse alla, eesmärgiga säilitada nahkhiirte elupaika ja devoniaegsete fossiilsete rüükalade leiukohta (Keskkonnaagentuur 2014a). Koopa läheduses on eramajad ja Tartu-Jõhvi maantee. Koopasüsteemi kohal ega koopa avavuse lähedal ei ole kasvavaid puid ega põõsaid. Koopa avausel on ees raudluuk ning koopa sees ei olnud vett.

Ülgase koobas (Joonis 1:9; Lisa 1:23-24)

Ülgase koobas asub Eesti põhjarannikul ning on tekkinud fosforiidi kaevandamise tulemusena (Tõnisson & Vellak 2015). Koopa kõrguseks on 2-3 m (sealsamas), käikude kogupikkus on umbes 4 km (Kurina 1996). Koopa ümbruses kasvavad lehtpuud ja koopa kõrval kulgeb sõidutee. Ülgase koopas on mitu suurt sissepääsuava. Vett on käikudes umbes 30-40 cm, mõnes kohas ka rohkem.

Laagri tunnel (Joonis 1:10; Lisa 1:25-26)

Laagri tunnel asub Tallinna lõunapiiril. Maa-aluseid kindlustuskäike on Nõukogude ajal laiendatud. (Eesti Entsüklopeedia 2011 s. v. Laagri koobas). Tunnelil on mitu betoneeritud sissepääsuava. Küllastuse ajal olid seinad tahmaga koos ning oli tunda kaablite põletamise lõhna. Tunneli kõrgus on ligi 4 m ja laius 2-3 m, vett oli 20-30 cm. Tunneli ümbruses, umbes 100 m raadiuses, ei kasva puid. Veidi eemal on eramud.

Astangu tunnel (Joonis 1:11; Lisa 1:31-32)

Astangu tunnelid asuvad Tallinnas, Haabersti linnaosas (Muinsuskaitseamet 2010d). Tunnelid olid Peeter Suure valitsemise ajal kasutusel laskemoonalaona, see on U-kujuline tunnel ja mille kõrguseks on 7 m, laiuseks 9 m ja pikkuseks 200 m (sealsamas). Ümbruses kasvab segapuistu ning läheduses voolab oja. Tunneli põrand on betoneeritud ja seal ei olnud vett.

Vääna-Posti tunnel (Joonis 1:12; Lisa 1:29-30)

Vääna-Posti tunnel asub Humala mõisast umbes 1 km põhja pool, Vääna klindilahe järsakus (Muinsuskaitseamet 2010b). Tunnel kuulus Peeter Suure valitsemise ajal ehitatud merekindluse tervikkompleksi (sealsamas). Tunneli kõrgus on umbes 3-4 m ja laius 3 m. Tunneli ümbruses kasvab segapuistu. Tunnelites on umbes 30-40 cm vett, kohati ulatus isegi üle põlve.

Vääna-Viti tunnel (Joonis 1:13; Lisa 1:33-34)

Vääna-Viti tunnel asub Viti külas (Muinsuskaitseamet 2010c). Tunnel kuulus Peeter Suure valitsemise ajal ehitatud maarinde I kaitsesektoris (sealsamas). Tunneli kõrgus on umbes 3-4 m, laius 3 m. Ümbruses kasvab hõre segapuistu. Tunneli tunnelites on vett.

Tänassilma tunnel (Joonis 1:14; Lisa 1:27-28)

Tänassilma tunnel asub Tallinna lõunapiiril Tänassilma külas. Tunnel on ehitatud Peeter Suure valitsemise ajal ning koosneb tunnelisüsteemist, mis olid vajalikud väeüksuste varjatud liikumiseks (Muinsuskaitseamet 2010a). Tunnelite kõrgus on umbes 2,8 m ja laius 4 m (sealsamas). Ümbruses kasvab segapuistu. Tunneli sees on vett umbes 20-30 cm .

2.2 Materjali kogumine

Osad Eesti koobastest on nahkhiirte püsielupaikadena kaitse all ning inimeste viibimine nendes on reguleeritud Eesti Vabariigi õigusaktidega, s.t. tavaolukorras keelatud. Uurimistöö käigus koobastes viibimiseks taotleti luba, mille Keskkonnaamet väljastas oma korraldusega (30. november 2017 nr 1-3/17/2946). Liikumisluba seadustas materjali kogumise Piusa koobastiku looduskaitsealal (koopad 1a-1c) ja Ülgase looduskaisteala sihtkaitsevööndis (koobas 9) ning Laagri, Vääna-Viti, Vääna-Posti nahkhiirte püsielupaigas (koopad 10, 12, 13). Ülejäänud koobastes ei ole viibimine seadusandlikult keelatud, kuid jälgida tuleb asjaõigusseadusest tulenevaid üldisi regulatsioone.

Materjali koguti alates detsembrist 2017 kuni jaanuari keskpaigani 2018 (Tabel 1). Koopas liikumise valgustamiseks kasutati pealampe. Peamiseks püüdmisvahendiks oli ekshauster, millega püüti koopa seintel talvituvate sääskede ja kärbestel valmikuid. Teisi putukaid ja ämblikuid koguti 70% etanooliga ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) täidetud probiiridesse, välja arvatud liblikad, kes määrati ja loendati kohapeal. Koobastes viibiti 30 minutit kuni 1,5 tundi, mis olenes koopa suurusest ja talvituvate isendite arvust. Suurematest koobastes püüti analüüsimiseks vähemalt 200 isendit, kuid väikestes koobastes püüti kinni kõik nähtud isendeid. Töö autor märkis üles koopasse sisenemise ja sealt väljumise kellaaaja. Kogutud materjali hoiti $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sügavkülmas.

2.3 Materjali sorteerimine, määramine ja analüüs

Kogutud materjal säilitati kogumiskohtade kaupa sügavkülmas. Järgneva sorteerimise käigus eraldati esmalt kärbselised (*Brachycera*), pistesääsklased (*Culicidae*) ja seenesääsklased (*Mycetophilidae*). Seejärel sorteeriti seenesääsklased (vt lisa 2) ja määrati pistesääsklased liikideni. Seenesääsklased säilitati etanooliga täidetud probiirides (vt lisa 2). Pistesääsklaste puhul on liikide eristamisel oluline soomuste paiknemine rindmikul, need on nõrgalt kinnitunud, eralduvad sageli ning ei ole märgpreparaatidel jälgitavad. Seetõttu säilitati pistesääsklased kuivalt liikide kaupa Petri tassides $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sügavkülmas. Materjali sorteerimiseks ja putukate määramiseks kasutati binokulaarmikroskoopi Leica S6E. Uurimistöö autor määras pistesääski Becker et al. (2010) määramisjuhise abil. Teisi püütud

loomi määrasid Tõnu Kesküla, Kaarel Sammet, Märt Kruus ja Olavi Kurina. Sorteeritud ja määratud loomade andmed kanti MS Exceli tabelisse ja analüüsiti.

Iga koopa kohta kasutati Chao 1 indeksit (Chao 1984, Colwell & Coddington 1994), kus selgitati välja koobaste potentsiaalne liigirikkust.

$$S_1 = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$$

S_{obs} – vaadeldatud liikide arv

F_1 – liikide arv, mis on esindatud ainult 1 isendiga

F_2 – liikide arv, mis on esindatud 2 isendiga

Jackknife 2 indeksi (Chazdon *et al.* 1998, Hortal *et al.* 2006) kasutamisel selgitati välja oletatav talvituvate liikide arv Eesti koobastes.

$$S_{jack2} = S_{obs} + \left[\frac{Q_1(2m-3)}{m} - \frac{Q_2(m-2)^2}{m(m-1)} \right]$$

S_{jack2} = oletatav talvituvate liikide arv Eesti koobastes

S_{obs} = leitud liikide arv

Q_1 = liikide arv, keda leiti ainult ühest koopast

Q_2 = liikide arv, keda leiti kahest koopast

m = proovide (= uuritud koobaste) koguarv

Koobastes talvituvate lüljalgsete liigirikkuse omavahelisel võrdlemiseks kasutati Sørenseni sarnasusindeksit (Sørensen 1948).

$$QS = 2(X \cap Y) / (X + Y)$$

$X \cap Y$ = kahe uuritava koopa ühiste liikide arv

X = liikide arv ühes koopas

Y = liikide arv võrreldavas koopas

3. TULEMUSED

3.1. Talvituvate lüljalgsete liigiline koosseis

Koobastes püüti kokku 3153 isendit lüljalgseid, lisaks loendati kohapeal 1996 isendit liblikaid (Tabel 2). Kokku koguti andmeid 5149 isendi kohta. Püütud ja vaadeldud materjal määrati kuuluvaks 49-sse liiki, kes jagunevad nelja lüljalgsete klassi vahel: putukad (Insecta) – 36 liiki, ämblikulaadsed (Arachnidae) – 8 liiki, tuhatjalgseid (Diplopoda) – 2 liiki ja sadajalgseid (Chilopoda) – 3 liiki. Lisaks eristati 11 gruppi isendeid, keda ei õnnestunud liikideni määrata ning kelle määrangud jäid kõrgemale taksonoomilisele tasemele (perekonnast kuni klassini). Putukate 36 määratud liiki jagunesid kolme seltsi vahel alljärgnevalt: kahetiivalised (Diptera) – 27 liiki, mardikalised (Coleoptera) – 4 liiki, liblikalised (Lepidoptera) – 5 liiki. Kõigist külastatud koobastest/tunnelitest leiti liiki *Culex pipiens* Linnaeus, 1758 – kokku 1685 isendit. Kõige rohkem määratud liike oli Kalmistu paljandi koopas – 22, kõige vähem määratud liike aga Lopa koopas – 7. Järgnevalt on esitatud tulemused lüljalgsete seltside kaupa (hulkjalgsete puhul klasside kaupa). Eraldi ei ole käsitletud kiletiivalisi (Hymenoptera), keda koguti 5 isendit 3-st koopast ja hooghännalisi (Collembola), keda püüti üks isend Allikukivi koopast.

Tabel 2. Kogutud ja vaadeldul lülijalgsete liigiline koosseis uuritud koobaste ja tunnelite kaupa. Koobaste numbrid on vastavuses Tabelile 1 ja Joonisele 1

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
Cl. INSECTA																	
O. DIPTERA																	
<u>Fam. Culicidae</u>																	
1. <i>Culex pipiens</i> Linnaeus, 1758	208	251	138	56	93	139	104	37	108	92	165	7	33	128	86	40	16/1685
2. <i>Culiseta annulata</i> (Schrank, 1776)	1		3		22			1	106		1	1	26	27	94	24	11/306
<u>Fam. Mycetophilidae</u>																	
3. <i>Exechia confinis</i> Winnertz, 1863				1		1			5								3/7
4. <i>Exechia dizona</i> Edwards, 1924			1		1			1	1		1			1	1	1	8/8
5. <i>Exechia fusca</i> (Meigen, 1804)									3								1/3
6. <i>Exechia spinuligera</i> Lundström, 1912									1								1/1
7. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) clypeata</i> (Lundström, 1911)			5						7	1				2		1	5/16
8. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) distendens</i> (Lackschewitz, 1937)	2		4	1			2	4	2	1	8						8/24
9. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) dimitrescae</i> (Burghele-Balacesco, 1972)	1						1										2/2

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
10. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) fimbriata</i> (Lundström, 1909)	12	24	46	36			42	6	1	9	13						9/189
11. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) hammi</i> (Edwards, 1925)	1		21	1	1					1							5/25
12. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) indecisa</i> (Walker, 1856)	2	1					1	1	1	5	5						7/16
13. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) januarii</i> (Lundström, 1913)				1													1/1
14. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) lackschewitziana</i> (Stackelberg, 1948)				3	1				1								3/5
15. <i>Exechiopsis (Exechiopsis) subulata</i> (Winnertz, 1863)	1	3	1	2			6		1	6	1						8/21
16. <i>Exechiopsis (Xenexechia) pollicata</i> (Edwards, 1925)					3			1									2/4
17. <i>Pseudexechia parallela</i> (Edwards, 1925)									6								1/6
18. <i>Rymosia affinis</i> Winnertz, 1863														2			1/2
19. <i>Rymosia fasciata</i> (Meigen, 1804)				9	2	1			2	1							5/15
20. <i>Rymosia placida</i> Winnertz, 1863									1								1/1

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
21. <i>Mycetophihla ichneumonea</i> Say, 1823	6	3									1						3/10
<u>Mycetophilidae</u> (emasid isendid)	48	40	84	42	13	4	65	30	59	53	30		1	3	3	4	15/479
<u>Fam. Trichoceridae</u>																	
22. <i>Trichocera</i> (<i>Saltrichocera</i>) <i>maculipennis</i> Meigen, 1818											4	2	1		1		4/8
23. <i>Trichocera</i> (<i>Saltrichocera</i>) <i>regelationis</i> (Linnaeus, 1758)						1		1									2/2
<u>Fam. Helomyzidae</u>																	
24. <i>Scoliocentra amplicornis</i> (Czerny, 1924)	2		8	1			12				9						5/32
25. <i>Scoliocentra</i> (<i>Scoliocentra</i>) <i>villosa</i> (Meigen, 1830)	6	31	4	61		2	1				1						7/106
26. <i>Heleomyza</i> (<i>Heleomyza</i>) <i>serrata</i> (Linnaeus, 1758)	9		13								23	1		2	1		6/49
27. <i>Oecothoa praecox</i> Loew, 1862		2		3						1							3/6
<u>Fam. Phoridae</u>				1													1/1
<u>Fam. Sphaeroceridae</u>										6							1/6
<u>O. COLEOPTERA</u>																	
<u>Fam. Leiodidae</u>																	

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
28. <i>Choleva elongata</i> (Paykull, 1798)										2							1/2
29. <i>Choleva oblonga</i> (Latreille, 1807)										4							1/4
30. <i>Choleva spinipennis</i> (Reitter, 1890)										3							1/3
<i>Choleva</i> sp.										2							1/2
31. <i>Catops fuliginosus</i> (Erichson, 1837)				1													1/1
<u>Fam. Staphylinidae</u>																	
<i>Tachyporus</i> sp.										1							1/1
<i>Philonthus</i> sp.										1							1/1
<i>Coleoptera</i> spp.(valmikud)			1														1/1
<i>Coleoptera</i> spp.(vastsed)			1														1/1
<u>O. LEPIDOPTERA</u>																	
<u>Fam. Erebidæ</u>																	
32. <i>Scoliopteryx libatrix</i> (Linnaeus, 1758)	30	20	80	120	50	35	50	20	20		70	10	10	10	10	8	15/543
<u>Fam. Geometridæ</u>																	
33. <i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus, 1758)	40	10	30	70	40	6	60	20	20		600	40	80	100	120	200	15/1436

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
<u>Fam. Nymphalidae</u>																	
34. <i>Aglais io</i> (Linnaeus, 1758)			1						4			7				2	4/14
35. <i>Aglais urticae</i> (Linnaeus, 1758)									1								1/1
<u>Fam. Depressariidae</u>																	
36. <i>Agonopterix heracliana</i> (Linnaeus, 1758)														1	1		2/2
<u>O. HYMENOPTERA</u>																	
<u>Fam. Ichneumonidae</u>		1					3				1						3/5
<u>CL. ARACHNIDA</u>																	
<u>O. OPILIONES</u>																	
<u>Fam. Phalangiidae</u>																	
37. <i>Leiobunum tisciae</i> (Avram, 1968)				2	6				7				7		5		5/27
<u>O. ARANEI</u>																	
<u>Fam. Lycosidae</u> juv.									1								1/1
<u>Fam. Tetragnathidae</u>																	
38. <i>Metellina merianae</i> (Scopoli, 1763)	1	9		3	3		3	2	3	3	14	2	5		2		12/50
39. <i>Meta menardi</i> (Latreille, 1804)															1		1/1

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
40. <i>Tetragnatha dearmata</i> (Thorell, 1873)													1				1/1
<u>Fam. Agelenidae</u>																	
41. <i>Eratigena atrica</i> (C. L. Koch, 1843)															1	2	2/3
<u>Fam. Linyphiidae</u>																	
42. <i>Porrhomma pallidum</i> (Jackson, 1913)										1							1/1
43. <i>Leptyphantes minutus</i> (Blackwall, 1833)													1				1/1
44. <i>Diplostyla concolor</i> (Wider, 1834)									1								1/1
<u>Fam. Clubionidae</u>																	
<i>Clubiona</i> sp. juv.			1														1/1
<u>CL. DIPOLOPODA</u>																	
<u>O. LITHOBIOMORPHA</u>																	
45. <i>Lithobius curtipes</i> (C.L. Koch, 1847)		2															1/2
46. <i>Lithobius forficatus</i> (Linnaeus, 1758)							1										1/1
<u>CL. CHILOPODA</u>																	
<u>O. JULIDA</u>																	

Rühm/liik	1 a	1 b	1 c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Koobaste arv/isendite arv
47. <i>Ommatoiulus sabulosus</i> (Linnaeus, 1758)					1												1/1
<u>O. POLYDESMIDA</u>																	
48. <i>Polydesmus denticulatus</i> (C.L.Koch, 1847)							1										1/1
49. <i>Polydesmus complanatus</i> (Linnaeus, 1761)	3																1/3
<u>Cl. COLLEMBOLA</u>								1									1/1
Isendeid kokku	373	397	442	414	236	189	352	125	362	193	947	70	165	276	326	282	5149
Liike kokku	16	11	14	17	12	7	13	11	22	15	15	8	9	9	12	8	
Chao 1 indeks	20,17	11,25	14	26	20	11,5	25,5	23,5	42,25	33	15	9	9	9,67	30	9	
Jackknife 2 indeks																	93,98

3.1.1 Liblikalised (*Lepidoptera*)

Liblikalised on liigirohke putukate selts, kuhu kuulub maailmas üle 157 000 liigi (Triant *et al.* 2018). Eestis on teada umbes 2200 liiki (Õunap 2018a). Liblikaliste leviala ulatub kõikidele mandritele, välja arvatud Antarktis. Enim liike leidub troopikaaladel (Culin 2018).

Koobaste külastuse käigus vaadeldi 5 liiki liblikalisi, kellest keldriöölane (*S. libatrix*, Joonis 2) ja paakspuuvaksik (*T. dubitata*, Joonis 3) esinesid kõigis koobastes v.a. Laagri. Päevapaabusilma (*A. io*) leiti neljast koopast, koerliblikat (*A. urticae*) ainult ühest ja lamekoi liiki *A. heracliana* kahest koopast. Kokku vaadeldi 1996 isendit liblikaid, kellest 72% olid paakspuuvaksikud (Joonis 3) ja 27% keldriöölased (Joonis 2); ülejäänud kolm liiki olid vähearvukad. Kõige rohkem isendeid (670) vaadeldi Ülgase koopas, kõige rohkem liike (4) Tartu Kalmistu paljandi koopas.



Joonis 2. Keldriöölane (*S. libatrix*) (Foto: originaal).



Joonis 3. Paakspuuvaksik (*T. dubitata*) (Foto: originaal).

3.1.2 Kahetiivalised (*Diptera*)

Kahetiivalisi on maailmas üle 150 000 liigi ja Eestis üle 2200 liigi, kuigi oletatav liikide arv Eestis on üle 4500 (Kurina 2011). Kahetiivalised jagunevad kaheks alamseltsiks - sääselised (*Nematocera*) ja kärbselised (*Brachycera*) (Õunap 2018 b).

Koobastest koguti kuue kahetiivaliste sugukonna esindajaid, kellest kõige liigirikkamaks osutusid seenesääsklased 19 liigiga. Ogatiibkärblasi (*Heleomyzidae*) sedastati 4 liiki ning talvesääsklasi (*Trichoceridae*) ja pistesääsklasi kumbagi kaks liiki. Sugukonnast küürkärblased (*Phoridae*) leiti üks isend Koorküla koopast ja sugukonnast eriskäppkärblased (*Sphaeroceridae*) 6 isendit Aruküla koopast. Mõlemal juhul jäi materjal määratuks sugukonna tasemele.

Pistesääsklased (*Culicidae*)

Maailmas on pistesääsklasi teada üle 3500 liigi, Euroopas on leitud umbes 105 liiki (Oosterbroek 2006). Emased toituvad elusate loomade verest, isased seevastu aga taimemahladest ja nektarist. Pistesääskede leviala ulatub peaaegu üle kogu maailma, välja arvatud kõrbed kuna seal ei ole piisavalt vett, kus vastsed saaksid areneda, samuti ei ole valmikutele piisavalt õhuniiskust (Harbach 2008). Parasvöötmes talvituvad ainult emased pistesääsklased, keda koguti ka käesoleva töö käigus.

Koobastest koguti kahte liiki pistesääsklasi: *Culex pipiens* ja *Culiseta annulata*, vastavalt 1685 ja 306 isendit. Liiki *C. pipiens* leiti kõigis 16 uuritud koopas, samas kui *C. annulata* esines 11 koopas. Kõige rohkem koguti isendeid Piusa Plotina oru koopast (251), kellest kõik kuulusid liiki *C. pipiens*, samas kui Tartu Kalmistu paljandi koopast kogutud 214 isendit jagunesid võrdselt mõlema liigi vahel (vt Tabel 2). Kõige vähem koguti pistesääsklasi Laagri tunnelist (8 isendit).

Seenesääsklased (*Mycetophilidae*)

Seenesääsklasi (Joonis 5) on maailmas teada üle 4500 liigi, Euroopas on 945 liiki (Oosterbroek 2006) ja Eestis on üle 500 liigi (Tatrik 2016). Nende leviala ulatub kõikidele mandritele välja arvatud Antarktis. Seenesääsklastel on tähtis roll metsakeskkonnale (Kerr 2008). Vastsestaadiumis on nende peamiseks toiduks seened (Tatrik 2016), kuid seenesääsklase valmikud tavaliselt ei toitu (Kurina 2014).

Koobastest koguti kokku 835 isendit seenesääsklasi, kellest liikideni määrati ainult isased (kokku 356). Emaste isendite puhul on liikideni määramine raskendatud morfoloogiliste eristustunnuste vähesuse tõttu. Ühtekokku püüti 19 liiki (vt Tabel 2): 10 liiki perekonnast *Exechiopsis*, 4 liiki perekonnast *Exechia*, 3 liiki perekonnast *Rymosia* ja 1 liiki perekonnast *Pseudexechia* ja *Mycetophila*. Kõige arvukamaks liigiks osutus *Exechiopsis fimbriata*, keda koguti 189 isendit 9-st koopast (56% uuritud koobastest). Kolm liiki, *Exechia spinuligera*, *Exechiopsis januarii* ja *Rymosia placida*, olid esindatud ainult ühe isendiga.

Kõige rohkem isendeid koguti Piusa Tsumbalohu koopast, 78 isendit (koos emaste isenditega 162), kõige rohkem liike Tartu Kalmistu paljandi koopast, 13. Laagri tunnelist ei leitud ühtegi liiki.



Joonis 4. Seenesääsklased (*Mycetophilidae*) (Foto: Heinonen 1995).

Talvesääsklased (*Trichoceridae*)

Talvesääsklasi on Euroopas umbes 50 liiki (Oosterbroek 2006). Vastsed toituvad mitmesugustes lagunevates orgaanilistes ainetes, sealhulgas lagunevate seente viljakehades (Kurina 2014). Talvesääskede valmikud on aktiivsed sügisest kevadeni (Oosterbroek 2006). Talvesääsklastest koguti kahte liiki: *Trichocera maculipennis* ja *T. regelationis*. Liiki *T. maculipennis* koguti Ülgase koopast 4 isendit, Laagri tunnelist 2 isendit, Astangu tunnelist 1 isend, Vääna-Viti tunnelist 1 isend. Liiki *T. regelationis* koguti nii Lopa kui ka Allikukivi koopast üks isend.

Ogatiibkärblased (*Heleomyzidae*)

Ogatiibkärblasi on Euroopas teada umbes 150 liiki (Oosterbroek 2006) ja Eestis 11 liiki (Kurina 2014). Leviala on üle kogu maailma (Gorodkov 1989). Ogatiibkärbseid võib kohata linnupesades, kõdus, seentes, väljaheidetes ja urgudes (Oosterbroek 2006). Ogatiibkärblasi koguti 11-st koobast 4 liiki: *Scoliocentra amplicornis*, *S. villosa*, *Heleomyza serrata* ja *Oecotha praecox*. Kõige arvukam oli *S. villosa* 106 isendiga 7-st koopast, esines kõigis kolmes Piusa koopas, Koorküla, Lopa, Vana-Kariste ja Ülgase koopas. Kõige vähem koguti liiki *O. praecox*: kolmest koopast 6 isendit. Ogatiibkärblasi ei leidunud Helme, Allikikivi, Kalmistu paljandi koobastest ega ka Astangu ning Tännassilma tunnelitest. Kõige rohkem isendeid korjati Koorküla koopast (65).

3.1.3 Mardikalised (*Coleoptera*)

Mardikalised on putukate liigirikkaim selts. Maailmas on teada 360 000-400 000 liiki (Chapman 2009), Eestis on leitud ligi 3500 liiki (Martin 2014). Mardikalised on hästi kohastunud erinevatele elupaikadele ja tingimustele (Merivee & Remm 1973). Mardikaliste keha katab kitiinist koorik, nende kattetiivad on sarvjad ja neil on haukamissuised (Eesti Entsüklopeedia 2006).

Mardikalisi koguti kolmest koopast (Piusa Tsumbalohu, Koorküla ja Aruküla koobas), kokku 16 isendit. Materjalist määrati 4 liiki ning viiel juhul jäid määrangud perekonna või sugukonna tasemele (vt Tabel 2). Seltsi esindatus oli kõige mitmekesisem Aruküla koopas, 13 isendit 6-st taksonoomilisest rühmast, kellest 3 määrati liigi tasemele. Kõige arvukam liik oli *Choleva oblonga*, keda koguti 4 isendit.

3.1.4 Koibikulised (*Opiliones*)

Koibikulisi on kirjeldatud umbes 5000 liiki (Giribet 2009), Eestis on teada 12 liigi esinemine (Tomasson et al. 2014). Neil on 4 paari pikki jalgu ja neil pole hästi eristunud pea ja tagakeha. Koibikulised toituvad nii taimedest kui ka putukatest. Paljud liigid elavad vähem kui aasta. Nende leviala on kõikjal, välja arvatud Antarktika. (Giribet 2009)

Koibikulistest koguti ainult liiki *Leiobunum tisciae*, kes kuulub sugukonda *Phalangiidae*. Liiki koguti viiest koopast: Koorküla, Helme, Kalmistu paljandi koopad ning Astangu ja Vääna-Viti tunnelid. Kokku saadi 27 isendit. Nii Kalmistu paljandi koopast kui ka Astangu tunnelist koguti kõige rohkem isendeid (kummastki 7).

3.1.5 Ämblikulised (*Araneae*)

Ämblikulisi on kirjeldatud umbes 43 000 liiki (Marusik 2011), Eestis on teada umbes 680 liiki (Insectoid 2018). Ämblikulistel on pea alaosa kinnituvates lõugtundlates mürginäärmed ja paljudel liikidel ka tagakehas võrgunäärmed, mis toodavad võrgu kudumiseks vajalikke komponente. Neil on 4 paari jalgu ja 8 silma. Ämblikud toituvad putukatest, surmates neid oma mürgiga (Tamm 2018). Seejärel rebivad nad saagi katki ja lasevad oma seedemahla sinna sisse ning seejärel imevad juba poolseeditud toidu (sealsamas). Ämblikuliste leviala ulatub kõikidele mandritele, välja arvatud Antarktis (Friedl 2018).

Koobastest kogutud liigid jagunesid viie sugukonna vahel: *Lycosidae*, *Tetragnathidae*, *Agelenidae*, *Linyphiidae* ja *Clubionidae*. Kõige rohkem isendeid koguti sugukonda *Tetragnathidae* kuuluvat liiki *Metellina merianae* - 50 isendit 12-st koopast, sealjuures enim Ülgase koopast (14 isendit). Kõige rohkem eri liike (3) saadi kolmest koopast (Kalmistu paljandi koobas, Ülgase koobas ning Vääna-Viti tunnel).

3.1.6 Tuhatjalgsed (*Diplopoda*) ja sadajalgsed (*Chilopoda*)

Tuhatjalgseid on maailmas kirjeldatud üle 12 000 liigi (Sierwald & Bond 2007), Eestis on teada 27 liigi esinemine (Sammet 2017). Tuhatjalgsetel on iga kehalüli küljes 2 paari jalgu, ning pea küljes 1 paar tundlaid. Nendel on väga oluline ökoloogiline roll, olles lagundajateks, kes toitudes taimekõdust stimuleerivad sellega toitainete ringlust. Nende leviala on kõikidel mandritel välja arvatud Antarktis. (Sierwald & Bond 2007)

Sadajalgseid on teada maailmas umbes 3100 liiki (Chapman 2009), Eestis 20 liiki (Sammet 2017). Neid eristab tuhatjalgsetes see, et iga kehalüli küljes on 1 paar jalgu. Põhiliselt on

sadajalgseid röövtoidulised (Ivask 2017). Leviala on kõikidel mandritel, välja arvatud Antarktis (Bonato & Zapparoli 2011).

Tuhatjalgseid koguti kahest koopast (Piusa Plotina oru koobas ja Vana-Kariste), kokku 3 isendit. Materjal määrati kaheks liigiks, *Lithobius curtipes* (2 isendit Piusa Plotina oru koopast) ja *L. forficatus* (1 isend Vana-Kariste tehiskoopast).

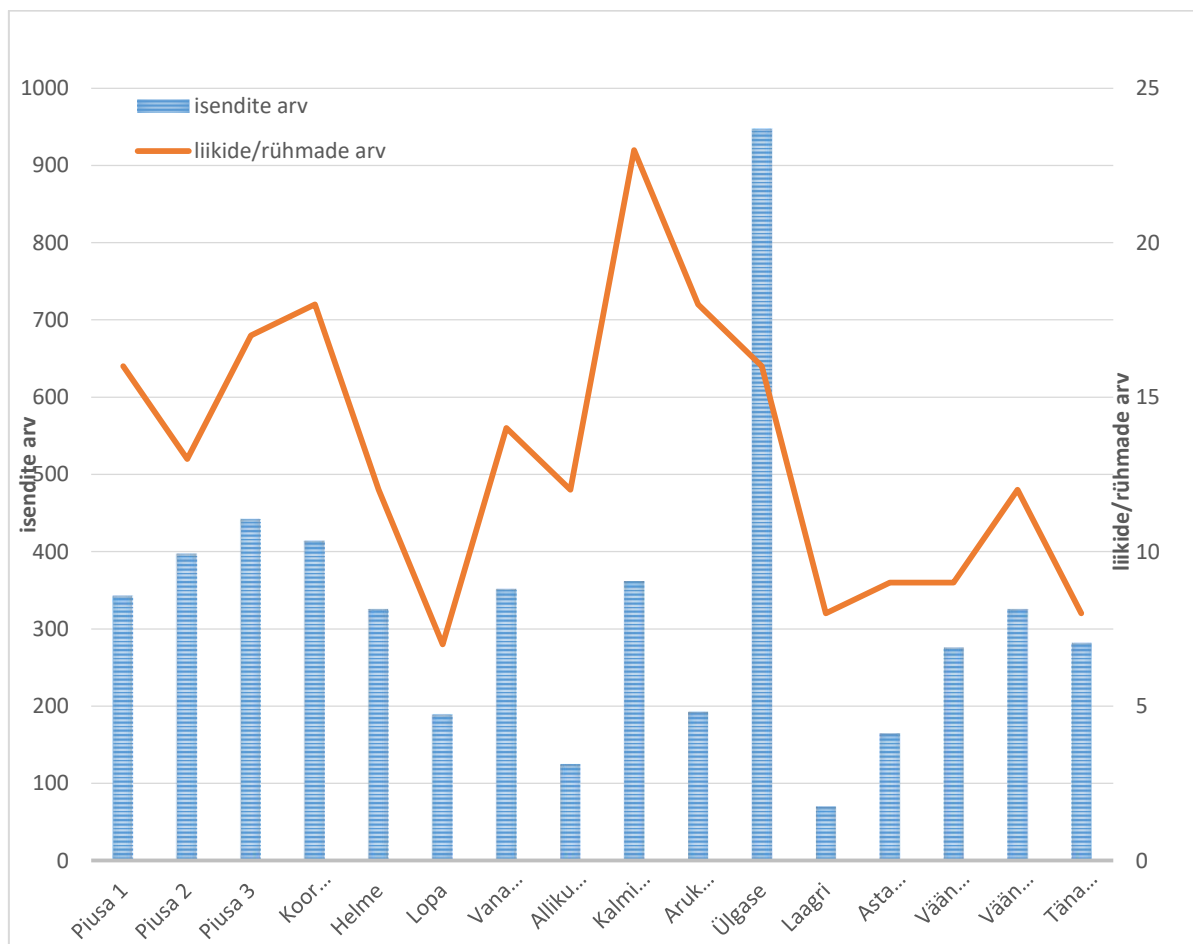
Sadajalgseid koguti kolmest koopast (Piusa Mõrsjamäe, Helme ja Vana-Kariste), kokku 5 isendit. Materjal määrati kolmeks liigiks *Ommatoiulus sabulosus* (1 isend Helme koopast), *Polydesmus denticulatus* (1 isend Vana-Kariste tehiskoopast) ja *P. complanatus* (3 isendit Piusa Mõrsjamäe koopast).

3.2 Koobaste lülijalgsete fauna iseloomustus

Uuritud koobastest kogutud või vaadeldud isendite arv varieerus 70-st (Laagri tunnel) kuni 947-ni (Ülgase koobas), keskmiselt 322 isendit. Sedastatud liikide arv varieerus 7-st (Lopa koobas) kuni 22 liigini (Kalmistu paljandi koobas), keskmiselt 13,25 liiki. Uuritud koobastest paiknesid 10 Lõuna-Eestis ja 6 Põhja-Eestis. Kui Lõuna-Eestis olid koopad enamasti aluskivimisse uuristatud või looduslikud, siis kuuest Põhja-Eesti koopast viis olid betoneeritud, osaliselt maapinnal paiknevat tunnelid. Ka oli inimõju osakaal Põhja-Eesti koobaste puhul olulisem: koobaste ümbruses on jäätmaa, koobastes selged inimtegevuse jäljed. Lõuna-Eesti koobaste ümbrus oli taimestiku poolest mitmekesisem ja inimese poolt mõõdukalt mõjutatud. Liikide arv Põhja-Eestis koobasteses jäi vahemiku 8-15 ja potentsiaalne liikide arv 9-30. Talvituvate liikide arv Lõuna-Eesti koobastes oli vahemikus 7-22 (potentsiaalne 11-42). Põhja-Eesti koobastest ei olnud sedastatud ja oletatava liikide arvu erinevus üldiselt märgatav (viies koopas < 1), kuid Väana-Viti tunnelis oli erinevus 18 (kogutud liikide arv oli 12, potentsiaalne liikide arv 30). Lõuna-Eesti koobastes oli kogutud ja potentsiaalsete liikide arvu varieeruvus suurem (0-22).

Kõige rohkem isendeid koguti ja vaadeldi Ülgase koopas (vt Joonis 5), mis oli ka pindalalt kõige suurem ja külastuse aeg oli kõige pikem (75 minutit; teistes koobastes keskmiselt 34 minutit), samas jäi täheldatud liikide arv (16) natuke üle keskmise taseme (oli keskmiselt 12,4 liiki koopas). Analüüsides potentsiaalselt talvituvate liikide arvu uuritud koobastes Chao 1 indeksi kaudu (Tabel 2), torkab silma Kalmistu paljandi koobas, kus oletatav absoluutne liigirikkus ületab dokumenteeritud liigirikkuse ligi 2 korda, vastavalt 42 ja 22

liiki. Protsentuaalselt kirjeldab kogutud ja vaadeldud liikide arv oletatavat ainult ligi 50% ulatuses veel kolme koopa (Vana-Kariste, Allikukivi ja Aruküla) puhul ning Vääna-Viti tunnelis ainult 41% ulatuses, kuid absoluutne oletatav liigirikkus on nendes koobastes vahemikus 23,5-30. Kolmes koopas (Piusa 3, Ülgase ja Astangu) langeb kogutud liikide arv Chao 1 indeksi põhjal kokku potentsiaalsete liikide arvuga, kolmes koopas (Piusa 2, Vääna-Posti ja Tännasilma) on potentsiaalselt esineda võivaid liike kuni ühe võrra rohkem. Eelnimetatud kuue koopa puhul näitab analüüs, et koopas viibimise ajal suudeti sedastada sealne tegelik või tegelikkusele lähedane liigirikkus. Käesoleva uurimuse käigus tehti kindlaks koobastes talvituvana 60 liiki/gruppi, kuid oletatav talvituvate lüljalgsete liikide koguarv Eesti koobastes võiks Jackknife 2 indeksit rakendades olla 94 (vt Tabel 2).



Joonis 5. Lüljalgsete isendite ja liikide/rühmade arv uuritud koobastes ja tunnelites.

Tabel 3. Uuritud koobaste liigirikkuse sarnasus Sørenseni sarnasusindeksi alusel. Koopad vastavad nimekirjale Tabelis 1

KOOPAD	1a	1b	1c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1b	0,69														
1c	0,8	0,56													
2	0,67	0,64	0,64												
3	0,5	0,52	0,54	0,6											
4	0,43	0,55	0,48	0,58	0,53										
5	0,83	0,83	0,67	0,67	0,4	0,5									
6	0,67	0,63	0,56	0,5	0,51	0,55	0,67								
7	0,53	0,48	0,61	0,51	0,59	0,41	0,51	0,61							
8	0,45	0,54	0,48	0,56	0,3	0,36	0,64	0,46	0,49						
9	0,84	0,85	0,83	0,62	0,52	0,45	0,86	0,77	0,59	0,47					
10	0,5	0,42	0,54	0,32	0,5	0,4	0,38	0,52	0,4	0,17	0,61				
11	0,48	0,5	0,43	0,46	0,67	0,5	0,45	0,6	0,45	0,33	0,58	0,7			
12	0,48	0,4	0,69	0,31	0,57	0,5	0,36	0,6	0,45	0,25	0,58	0,59	0,55		
13	0,5	0,43	0,54	0,41	0,67	0,42	0,4	0,61	0,53	0,22	0,67	0,7	0,76	0,76	
14	0,42	0,42	0,73	0,32	0,6	0,53	0,38	0,63	0,6	0,26	0,52	0,62	0,59	0,82	0,7
Keskmine	0,59	0,56	0,61	0,52	0,53	0,48	0,57	0,59	0,52	0,4	0,65	0,49	0,45	0,53	0,55

Talvituvate lüljalgsete liigirikkus oli kõikides koobastes suhteliselt sarnane: Sørenseni sarnasusindeks 0,40-0,61; keskmine 0,54. Kõige unikaalsema liigilise koosseisuga oli Aruküla koobas: Sørenseni sarnasusindeks 0,17-0,64; keskmine 0,40 (vt ka Tabel 3).

ARUTELU

Eesti koopad on laiemas kontekstis väikesed, nad on enamasti inimese poolt kaevatud ning nendes puuduvad spetsiifilised koopaliigid (troglabiondid). See on seletatav asjaoluga, et Eesti looduslikud koopad on liiga väikesed ning Eesti ala keskkonnatingimused on liiga lühikest aega olnud sobivad koopaliikide tekkeks. Uuritud koopad võib jaotada oma geograafilise paiknemise alusel Põhja- ja Lõuna-Eesti koobasteks ning nendes sedastati mõneti erinev liigiline koosseis. Töö algul püstitatud hüpotees, et koopas talvituvate lülijalgsete liigirohkus on võrdelises seoses koopa suurusega, ei leidnud kinnitust. Põhja-Eesti tunnelid ja Ülgase koobas olid oma mõõtmetelt tunduvalt suuremad kui Lõuna-Eesti koopad, ometi oli nii nendes registreeritud, aga eriti potentsiaalne liigirikkus (Chao 1 indeksi alusel) väiksem. Koobaste suuavad olid Lõuna-Eesti koobastel väiksemad (lisaks oli Allikukivi ja Aruküla koobastel kas üks või luuk), kuid see ei avaldanud liigilisele mitmekesisusele olulist mõju. Küll võib seletada mõõtmetelt suuremate putukate (talvituvad liblikalised) puudumist Aruküla koopas luugiga suuaval. Mõõtmetelt väikesed kahetiivalised ja mardikad leiavad avavusi koopasse tungimiseks ning nendele luugi olemasolu niipalju mõju ei avalda.

Põhja-Eesti koobastes vaadeldi isendite arvu vähenemist sügavamal koopas/tunnelis. Võib oletada, et lülijalgsete eelistavad talvituda koopa suuavale lähemal, kuid piisavalt kaugel vältimaks läbikülmumist. Kuna mõõdukas kaugusel suuavast on koopatingimused (temperatuur ja niiskus) suhteliselt sarnased, siis ei ole lülijalgsele oluline liikuda suuavast maksimaalselt kaugemale. Laagri tunnelis oli nii isendeid kui ka liike kõige vähem, mille põhjuseks võiks oletada intensiivset inimtegevust ja selle tulemeid (seinad olid tahmased ja tunda oli kaablite põletamise lõhna). Ülgase koopa isendite arv oli kõige suurem kuna koobas oli suur, selle külastusaeg oli kõige pikem (75 minutit), seega koguti ja vaadeldi lülijalgseid rohkem. Põhja-Eesti koobaste väiksemat liigirikkust võib seostada antropogeense mõjuga sealsete koobaste ümbruses.

Lõuna-Eesti koobastest oli kõige liigirikkam Kalmistu paljandi koobas, mis on kooskõlas varasemate publitseeritud andmetega. Talvituvate seenesääsklaste analüüsil leiti Kalmistu paljandi koobas olevat uuritud üheksa Eesti koopa hulgas kõige liigirikkam (Kurina 1996). Seda võib seletada asjaoluga, et Kalmistu paljandi koopa suuava, mis on suunatud Emajõe poole, on ümbritsetud suhteliselt mitmekesise taimestikuga, samuti on paljandi kohal liigirikas ja maastikuliselt mosaiikne kalmistu. Koopa suuava oli kitsas, sisse pääsemisks

pidi ennast sisse suruma ja koopa sees polnud palju käike. Seega koobas polnud suur ja isendeid korjati keskmiselt (362), mis ei toeta püstitatud hüpoteesi. Võrreldes kõikide teiste koobastega leiti Aruküla koopast rohkem mardikaid, 9-st liigist/rühmast koguti 6 ainult Aruküla koopast. Ka seda võib põhjendada mitmekesise taimestiku ja mardikatele sobivama biotoobiga koopa ümbruses.

KOKKUVÕTE

Eesti koopad on enamasti tekkinud inimtegevuste käigus ning võrreldes maailma koobastega on suuruselt väiksed. Koopa elustik pole ka seetõttu spetsiifiline. Lüljalgsed, sh putukad, kasutavad koopaid varjena ja ebasoodsa ilmastiku üleelamiseks, sh talvitumiseks.

Uurimistöö eesmärgiks oli teada saada koobastes talvituvate lüljalgsete liigiline koosseis ning uurida selle sõltuvust koopa suurusest.

Külastati 16 koobast ja/või tunneli (detsember 2017 kuni jaanuar 2018). Koopad paiknesid üle terve Eesti, nendest 6 Põhja-Eestis ja 10 Lõuna-Eestis. Koguti ja vaadeldi kokku 60 liiki/gruppi lüljalgseid, kellest 49 määrati liigi tasemele ning kes jagunesid nelja lüljalgsete klassi vahel: putukad (Insecta) – 36 liiki, ämblikulaadsed (Arachnida) – 8 liiki, tuhatjalgsed (Diplopoda) – 2 liiki ja sadajalgset (Chilopoda) – 3 liiki. Putukate määratud 36 liiki jagunesid kolme seltsi vahel alljärgnevalt: kahetiivalised (Diptera) – 27 liiki, mardikalised (Coleoptera) – 4 liiki ja liblikalased (Lepidoptera) – 5 liiki. Kõige liigirohkemaks perekonnaks oli seenesääsklaste hulka kuuluv *Exechiopsis* 10 liigiga. Kõike massilisemaks täheldatud liigiks osutus harilik laulusääsk (*Culex pipiens* Linnaeus, 1758) 1685 isendiga.

Vaadeldud ja kogutud liikide arv varieerus 7-st (Lopa koobas) kuni 22-ni (Kalmistu paljandi koobas), keskmine 12,4. Potentsiaalne talvituvate liikide arv koobastes varieerus Chao 1 indeksi alusel 9-st (Tänassilma tunnel) kuni 42-ni (Kalmistu paljandi koobas) ning oli summaarselt Jackknife 2 indeksit rakendades 94. Koobaste liigirikkuse omavaheline sarnasus oli Sørenseni sarnasusindeksi alusel keskmiselt 0,54.

Uurimustulemusel selgus, et koopa suurus ei mõjuta seal talvituvate liikide arvu ning väike koobas võib olla tunduvalt mitmekesisema liigilise koosseisuga kui suur. Küll on liigiline koosseis sõltuvuses inimmõjust koopa vahetus läheduses.

Põhja- ja Lõuna-Eesti koobaste omavahelises võrdluses ilmnes, et Lõuna-Eesti koobaste liigirikkus on suurem. See on arvatavalt tingitud koobaste ümbruse mitmekesisusest ja väiksemast inimmõjust.

SUMMARY

Estonian caves are mostly with an anthropogenic origin and in comparison to other caves of the world, small. As a result, the biota of Estonian caves is unspecific. Arthropods, including insects, use caves for shelter and surviving difficult weather conditions, including winter.

The aim of the thesis is to specify the population composition of arthropods overwintering in the Estonian caves and to study its relation to the size of the cave.

16 caves and/or catacombs were visited (December 2017 to January 2018). The visited caves were located all around Estonia – 6 in Northern Estonia and 10 in Southern Estonia. 60 species/groups of arthropods were collected and studied. 49 of them were determined to the species level and belonged to four arthropods classes: Insecta – 36 species, Arachnidae – 8 species, Diplopoda – 2 species and Chilopoda – 3 species. The 36 species of Insecta belonged to three orders as follows: Diptera – 27 species, Coleoptera – 4 species and Lepidoptera – 5 species. The family with the largest number of species was *Exechiopsis* with 10 species. The most abundant species was (*Culex pipiens* Linnaeus, 1758) with 1685 specimen.

The number of studied and collected species varied from 7 (Lopa cave) to 22 (Kalmistu outcrop cave), the average being 12.4. Based on the Chao 1 index, the number of potentially overwintering species varied from 9 (Tänassilma catacomb) to 42 (Kalmistu outcrop cave) and was 94 when applying the combined Jackknife 2 index. According to Sørensen similarity index, the similarity of the species diversity of the caves was 0.54 on average.

The thesis concludes that the size of a cave does not affect the number of species overwintering in the cave. In comparison to a big cave, the population composition of a small cave can be much more diverse. However, the population composition of a cave is dependent on the human activity in its immediate vicinity.

In the comparison between Northern and Southern Estonian caves, it becomes evident that the Southern Estonia caves have a larger diversity of species. This is presumably due to high environmental diversity and low human activity surrounding the caves.

KIRJANDUS

Alasi, L. (2012). Aruküla koopad. - *Devoni ajastu fossiilid*. Kättesaadav: http://www.hkhk.edu.ee/eope/devon/arukla_paljand.html (21.01.2018)

Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Dahl, C., Madon, M., Kaiser, A., (2010). Mosquitoes and Their Control. – *Springer*. New York. pp 577.

Bonato, L., Zapparoli, M. (2011). Chilopoda. Geographical distribution. Kättesaadav: https://www.researchgate.net/publication/301342392_Chilopoda_Geographical_distribution (10.05.2018)

Chao, A. (1984). Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11, 265–270.

Chapman, A. D. (2009). Numbers of Living Species in Australia and the World. *Australian Biodiversity Information Services*. Toowoomba. Kättesaadav: <http://www.environment.gov.au/science/abrs/publications/other/numbers-living-species/discussion-invertebrates> (10.05.2018)

Chazdon, R., Colwell, R., Denslow, J., and Guariguata, M. (1998). Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica, p. 285-309. In Dallmeier, F. and Comiskey, J. (eds.), *Forest Biodiversity Research, Monitoring and Modeling: Conceptual Background and Old World Case Studies*. Parthenon Publishing, Paris.

Colwell, R. K., Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. - *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 345 (1311): 101-118.

Culin, J. (2018). Lepidopteran. *Encyclopedia Britannica*. Kättesaadav: <https://www.britannica.com/animal/lepidopteran> (19.04.2018)

Culver, D. C., White, W. B. (2012). *Encyclopedia of caves*. Elsevier, 996 pp.

Eesti Entsüklopeedia (2003. muudetud 2011). Kättesaadav: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/laagri_kaitseala (21.01.2018)

Eesti Entsüklopeedia (2003. muudetud 2013). Kättesaadav: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/lopa_p%C3%B5rgu (21.01.2018)

Eesti Entsüklopeedia. (2006). *Mardikalised*. Kättesaadav: <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/mardikalised1>

Eisen, J. M. (2000). Koorküla. - *Esivanemate varandus*. Sinisukk. Kättesaadav: <http://www.eestigiid.ee/?CatID=101&ItemID=3844> (21.01.2018)

Fisher, J. R. (1994). Temperature Effect on Postdiapause Development and Survival of Embryos of Three Species of *Melanoplus* (Orthoptera: Acrididae). - *Annals of the Entomological Society of America*. Vol 87. No 5, pp 604-608.

Fox-Skelly, J. (2015). The bizarre beasts living in Romania's poison cave. - *BBC Earth*. Kättesaadav: <http://www.bbc.com/earth/story/20150904-the-bizarre-beasts-living-in-romania-poison-cave> (27.01.2018)

Friedl, S. (2018). Order *Araneae*: Definition, Characteristics & Life Cycle. – *Study.com*. Kättesaadav: <https://study.com/academy/lesson/order-araneae-definition-characteristics-life-cycle.html> (17.04.2018)

Giribet, G. (2009). Chapter 65 – Daddy – Long - Legs: (*Opiliones*). - *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. Academic Press, pp. 247-248. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123741448000746> (19.04.2018)

Gorodkov, K. B. (1989). Family *Helomyzidae* (*Heleomyzidae*). - *Keys to The Insects of The European Part of The USSR*. Kättesaadav: <https://books.google.ee/books?id=dsoUAAAIAAJ&pg=PA510&lpg=PA510&dq=Helomyzidae&source=bl&ots=FmoiUIh6bY&sig=aD-BvjhxrefcsYFI0ZLgzRzxnKg&hl=et&sa=X&ved=0ahUKEwjIraupmaDZAhUHFiwKHRUZC0gQ6AEIZDAI#v=onepage&q=Helomyzidae&f=false> (17.04.2018)

Harbach, R. (2008). *Culicidae* Meigen, 1818. – *Mosquito Taxonomic Inventory*. Kättesaadav: <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/simpletaxonomy/term/6045> (18.04.2018)

Heinonen, J. (1995). Pakkasta piilossa. *Suomen Luonto*, 54(2): 24-27.

Hortal, J., Borges, P., Gaspar, C. (2006). Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. - *Journal of Animal Ecology*, 75:274-287.

Insectoid.info. Distribution path and Subregions of Estonia. Kättesaadav: <http://insectoid.info/checklist/araneae/estonia/> (10.05.2018)

Ivask, M. (2017). Hulkjalgsed eelistavad varjatud eluviisi. – *Metsaelu*. Lk 26-27. Kättesaadav: https://www.researchgate.net/publication/317623906_Hulkjalgsed_eelistavad_varjatud_eluviisi (10.05.2018)

Kerr, P. H. (2008). Fungus Gnats (*Diptera: Mycetophilidae* and others).- *Encyclopedia of Entomology*. Spring Reference, pp. 1551-1554. Kättesaadav: <https://books.google.ee/books?id=i9ITMiiohVQC&pg=PA1551&lpg=PA1551&dq=Mycetophilidae&source=bl&ots=VYzrQqoRUW&sig=USDZADZY0EIYn95-I0rdXOodjUI&hl=et&sa=X&ved=0ahUKEwiT3rfXj6DZAhVL1iwKHVRiB-04ChDoAQg5MAY#v=onepage&q=Mycetophilidae&f=false> (19.04.2018)

Keskkonnaagentuur. (2014a). Kaitsealune ala või üksikobjekt: Aruküla koopad. Kättesaadav: http://loodus.keskkonnainfo.ee/eelis/default.aspx?state=4;68547596;est;eelisand;;&comp=objresult=ala&obj_id=1201 (21.01.2018)

Keskkonnaagentuur. (2014b). Kaitsealune ala või üksikobjekt: Kalmistu paljand. Kättesaadav: http://loodus.keskkonnainfo.ee/eelis/default.aspx?state=4;68547596;est;eelisand;;&comp=objresult=ala&obj_id=2862 (21.01.2018)

Keskkonnaagentuur. (2018). Ürglooduse objekt: Piusa liivakoobaste allikaala.. Kättesaadav: http://loodus.keskkonnainfo.ee/eelis/default.aspx?state=9;68547593;est;eelisand;;&comp=objresult=yrg&obj_id=887010029 (21.01.2018)

Kniss, V. A. (2001). Фауна пещер России и сопредельных стран. Ufa, lk 237.

Kurina, O. (2014). No miks need seened küll ussitavad? - *Eesti Loodus*. No 9, pp 14-17. Kättesaadav: http://www.eestiloodus.ee/arhiiv/Eesti_Loodus09_2014.pdf (19.04.2018)

Kurina, O. (1996). Hibernation of fungus gnats (*Diptera, Mycetophilidae*) in Estonian caves.- *Studia dipterologica*. Vol. 3. Issue 2, pp 221-229.

Kurina, O. (2011). Kahetiivaliste uuritusest ja uurimisest. - *Eesti Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat*. Tartu, lk 245-247

Martin, M. (2014). Kuidas putukat ära tunda VII. Mardikad ja lehviktiivalised. *Eesti Loodus*, 65(9): 42-49.

Marusik, Y. M. (2011). Results and prospects of the study of spiders (*Aranei*) in Russia and around the world. - *Entomological Review*. Vol. 92, No. 2, pp. 206–215. Kättesaadav: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134%2FS0013873812020091.pdf> (20.04.2018)

Meltsas, L. (2000). Päev Tõrva ümbruses. – *Eesti loodus*. Nr. 10. Kättesaadav: http://vana.eestiloodus.ee/eesti_loodus/EL/vanaweb/0010/torva.html (21.01.2018)

Merivee, E. (1978). Putukate külmakindlus. Tallinn: Valgus, lk 7-28.

Merivee, E., Remm, H. (1973). Mardikate määraja. Tallinn: Valgus, lk. 306.

Muinsuskaitseamet. (2010a). 8889 Peeter Suure Merekindluse Pääsküla positsiooni varjenditevaheline tunnelisüsteem 1913-1917. a. (registreeritud 20.11.1997) Kättesaadav: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8889> (21.01.2018)

Muinsuskaitseamet. (2010b). 8880 Peeter Suure Merekindluse Humala positsiooni rooduvarjend nr.1, 1916. a. (registreeritud 20.11.1997). Kättesaadav: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8880> (22.01.2018)

Muinsuskaitseamet. (2010c). 8857 Peeter Suure Merekindluse komandokeskuse ohvitseride eluvarjend, 1913-1917. (registreeritud 20.11.1997). Kättesaadav: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8857> (22.01.2018)

Muinsuskaitseamet. (2010d). 8721 Peeter Suure Merekindluse laskemoonalaod, 1917.a. (registreeritud 19.11.1999). Kättesaadav: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8721> (22.01.2018)

Oosterbroek, P. (2006). The European Families of the Dipter Utrecht, KNNV lk. 205.

Romero, A. (2012). Caves as Biological Spaces.- *An Interdisciplinary Arts and Sciences Journal*, Vol. 2, No. 3. Kättesaadav: https://www.researchgate.net/publication/236121978_Caves_as_Biological_Spaces (18.04.2018)

Sammet, K. (2017). Hulkjalgsed Eestis: Liigiline koosseis, levik ja elupaigaeelistused. *Magistritöö. Vee- ja maismaa ökosüsteemide rakendusbioloogia õppekava. Eesti Maaülikool*. Tartu, lk. 79.

Sierwald, P., Bond, J. E. (2007). Current Status of the Myriapod Class Diplopoda (Millipedes): Taxonomic Diversity and Phylogeny.- *Annual Review of Entomology*. No 52, pp 401-421. Kättesaadav:

https://www.researchgate.net/publication/6635662_Current_Status_of_the_Myriapod_Class_Diplopoda_Millipedes_Taxonomic_Diversity_and_Phylogeny (10.05.2018)

Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Skrifter. 4: 1-34.

Suljević, D., Muhić, A., Islamagić, E., Fočak, M. (2017). Temporal dependence between hibernation and post-hibernation period according to biochemical profile of hemolymph in *Helix pomatia* Linnaeus, 1758. - *Acta Biologica Szegediensis*. Vol. 61. No 2, pp 129-134.

Tamm, A. (2018). Ämblikulaadsed. - *Tartu Ülikool*. Kättesaadav: <https://www.ut.ee/BGZM/videoloomad/amblikulaadsed.htm> (19.04.2018)

Tatrik, K. (2016). Tartu teadlased: seenesääsed valivad oma toitu nagu inimesedki. – *EER Novaator*. - Tartu Ülikool. Kättesaadav: <https://novaator.err.ee/259340/tartu-teadlased-seenesaased-valivad-oma-toitu-nagu-inimesedki> (19.04.2018)

Tomasson, K., Tammru, T., Kurina, O. (2014). Harvestmen (Arachnida: Opiliones) in Estonia: results of the Estonian Malaise Trap Project., *Entomologica Fennica*, 25: 142–156.

Triant, D. A., Cinel S. D., Kawahara A. Y. (2018). Lepidoptera genomes: current knowledge, gaps and future directions. - *Current Opinion in Insect Science*. Vol 25, pp 99 – 105. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221457451730175X> (05.02.2018)

Tõnisson, A., Vellak, A. (2015). Eesti koopad. Tallinn: Varrak, lk. 224.

Viidalepp, J., Remm, H. (1996). Eesti liblikate määraja. Tallinn, Valgus, lk. 444.

Vilbaste, A. (1987). Eesti ämblikud (*Aranei*): anoteeritud nimestik. Tallinn, Valgus, lk. 113.

Õunap, E. a. Selts: liblikalised (*Lepidoptera*). Üldisloomustus. <http://www.zbi.ee/satikad/putukad/liblik/>

Õunap, E. b. Selts: kahetiivalised (*Diptera*). Üldisloomustus. Kättesaadav: <http://www.zbi.ee/satikad/putukad/karbes/> (19.04.2018)

Õunap, E., Tartes, U. (2014). Eesti päevaliblikad. Tallinn, Varrak, lk. 284.

LISAD

Lisa 1. Uuritud koobaste pildid (originaalid)

Koorküla koopast ja selle ümbrusest tehtud pildid (1-4)



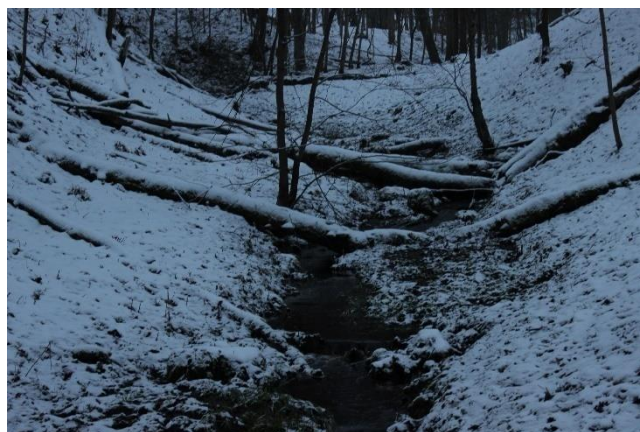
1.



2.



3.



4.

Piusa 1 ehk Mõrsjamäe koopast ja selle ümbruses tehtud pildid (5-8)



5.



6.



7.



8.

Piusa 2 koopast ja selle ümbrusest tehtud pildid (9-11)



9.



10.



11.

Piusa 3 ehk Tsumbalohu koopast ja selle ümbrusest tehtud pildid (12-13)



12.



13.

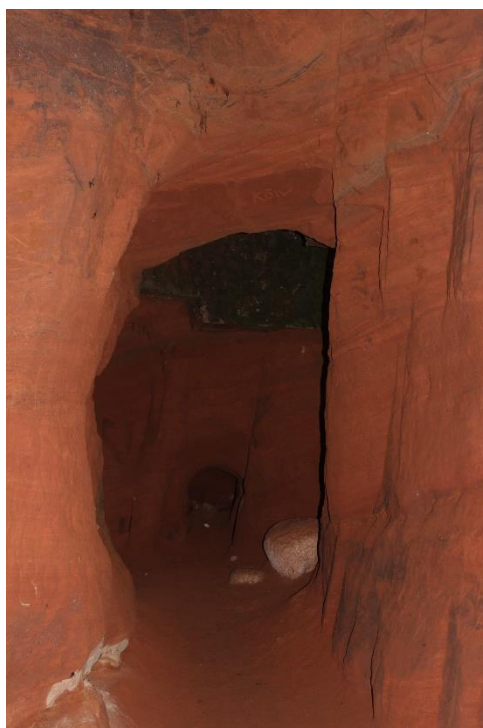
Allikukivi koopastes ja selle ümbrusest tehtud pildid (14-16)



14.



15.



16.

Vana-Kariste tehiskoopu suuavast ja ümbrusest tehtud pildid (17-18)



17.



18.

Lopa koopa ümbrusest tehtud pildid (19-20)



19.



20.

Helme koopast tehtud pildid (21-22)



21.



22.

Ülgase koopast ja selle ümbruses tehtud pildid (23-24)



23.



24.

Laagri tunnelist tehtud pildid (25-26).



25.

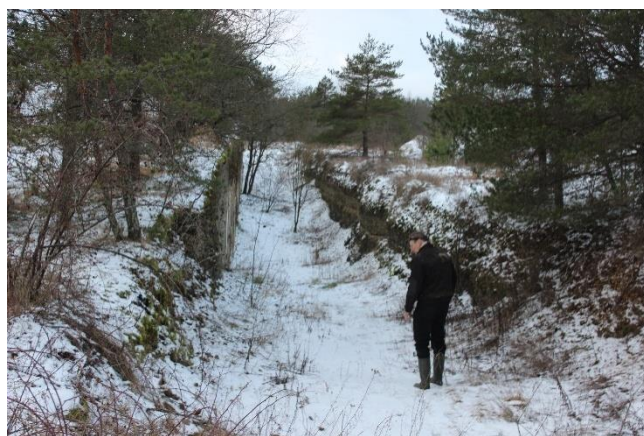


26.

Tänassilma tunnelist ja selle ümbrusest tehtud pildid (27-28)



27.



28.

Vääna-Posti tunnelist ja selle ümbrusest tehtud pildid (29-30)



29.



30.

Astangu tunnelist tehtud pildid (31-32)



31.



32.

Vääna-Viti tunnelist tehtud pildid (33-34)



33.



34.

Kalmistu paljandi koobast tehtud pildid (35-36)



35.



36.

Aruküla koopast tehtud pildid (37-38)

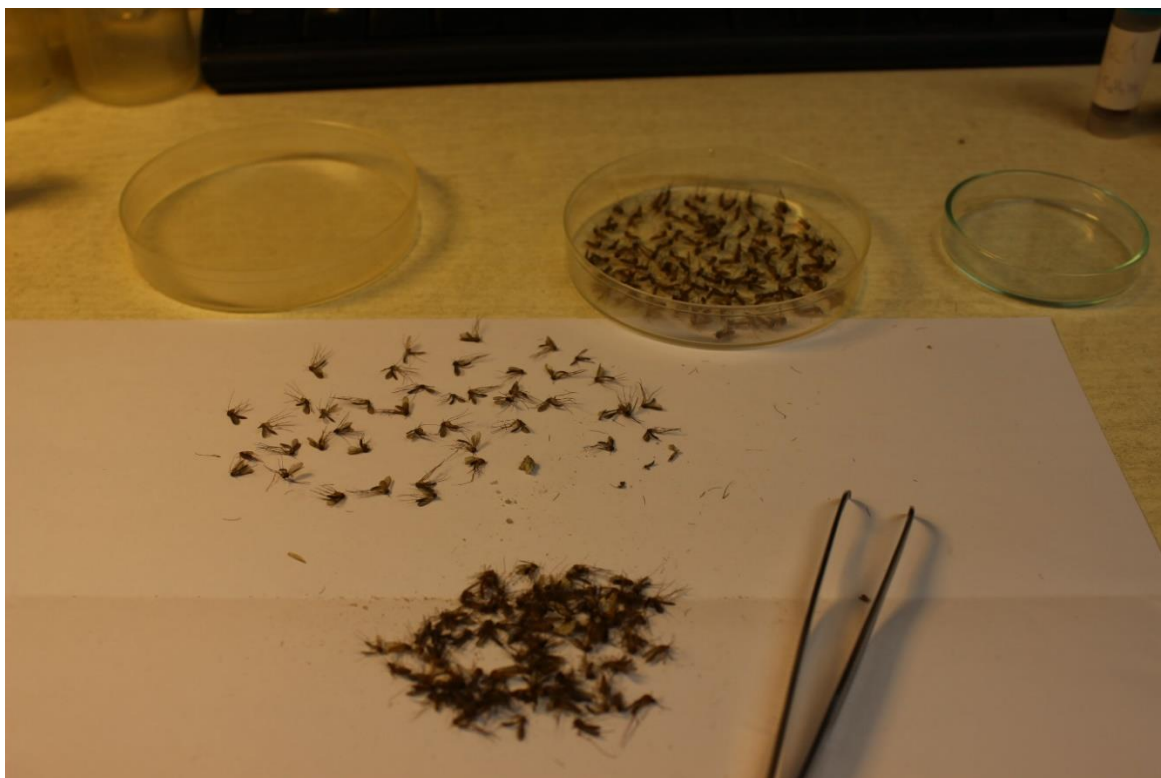


37.

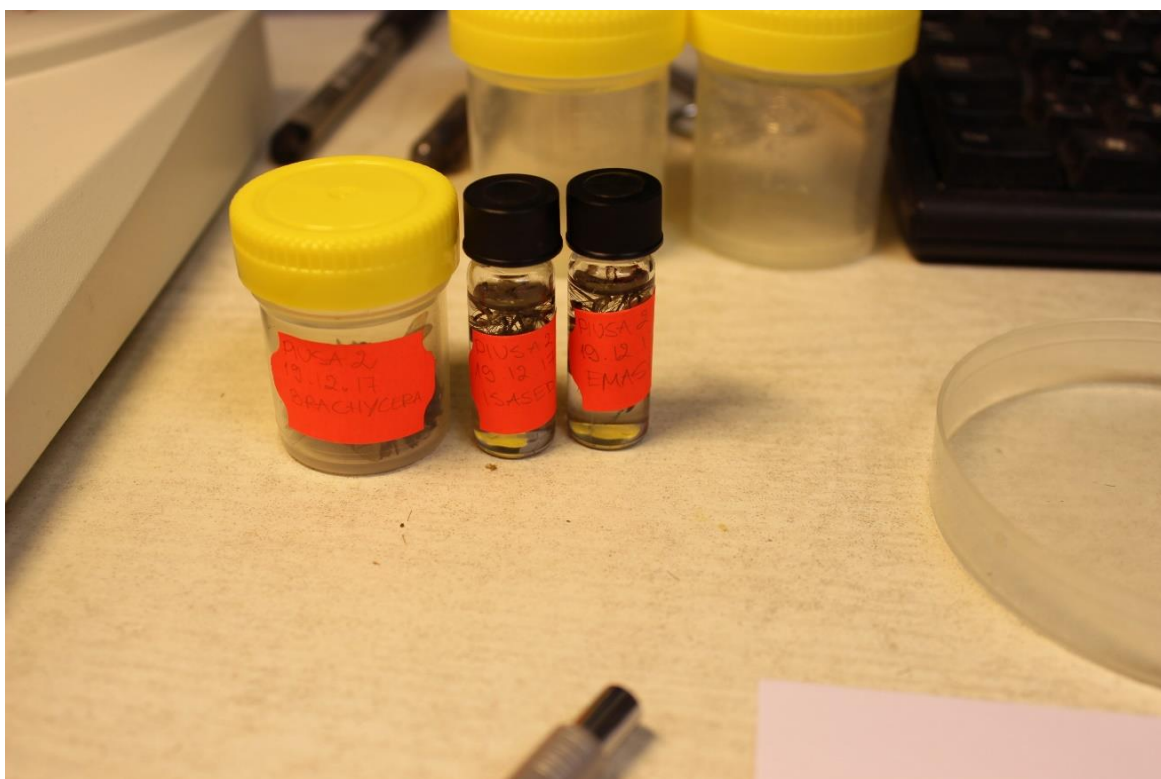


38.

Lisa 2. Putukate sorteerimise pildid (originaalid)



1. Seenesääsklaste sorteerimine pistesääsklastest



2. Emased ja isased seenesääsklased on erinevates etanooliga täidetud topsikutes ja suuremas topsikus on kärbselised

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Anita Makarevitš

(sünnipäev pp/kuu/aa: 01/07/1991)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Eesti koobastes talvituvad lüljalgsed,

mille juhendaja on Olavi Kurina,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 22.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Olavi Kurina

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)